



UNIVERSIDADE DO MINDELO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA EM

ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANO LETIVO 2019/2020

Tema: Valorização Energética de Resíduos Ovinocultura para Produção Biogás.

Caso de Estudo: Propriedade Privada, Garça D'cima Sto. Antão

Autor: Kelvin Andrade da Graça, N.º 3921

Orientadora: Mestre Susana Castro

Mindelo, 2020

**CURSO DE LICENCIATURA EM
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ano Letivo 2019/2020

**VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS DA OVINOCULTURA
PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

**CASO ESTUDO: PROPRIEDADE PRIVADA, GARÇA D'CIMA SANTO
ANTÃO**

Autor: Kelvin Andrade da Graça, N.º 3921

Orientador: Mestre Susana Castro

Mindelo, 2020

Kelvin Andrade da Graça

**VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS DA OVINOCULTURA
PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

**CASO ESTUDO: PROPRIEDADE PRIVADA, GARÇA D'CIMA SANTO
ANTÃO**

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado à Universidade do Mindelo
como parte dos requisitos para obtenção
do grau de licenciado em Engenharia em
Energias Renováveis.

Orientadora: Mestre Susana Castro

Mindelo 2020

RESUMO

A microgeração permite que propriedades privadas possam produzir a sua própria energia e reduzir os gastos de energia comprada na rede convencional. No setor agrícola os gastos com a eletricidade podem ser impactantes e incentivar a implantação de tecnologias alternativas, que produzam energias a baixo custo, diminuam os impactos ambientais e criem impactos socioeconômicos positivos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de produção de biogás através do uso de resíduos gerados pela criação de ovinos numa propriedade privada na ilha de Santo Antão.

O biogás, é uma mistura gasosa obtida pela digestão anaeróbica da matéria orgânica, com o seu uso é possível a redução das emissões de gases de efeito de estufa. As tecnologias de conversão do biogás permitem que se possa ter diversas aplicações para o biogás como a produção elétrica, aquecimento entre outros.

No caso de estudo, descreve-se o local de implementação do biodigestor seguindo-se, o dimensionamento do biodigestor que engloba calcular muitas variáveis, decidiu-se após isso os materiais a serem usados na construção do biodigestor, por fim calcular a viabilidade económica desse projeto acompanhado das considerações finais. A produção anual estimada de biogás é de 384m^3 , o que equivale a ter uma produção anual de energia de 2112Kwh.

Palavras-Chave: Biogás, biodigestor, sustentabilidade energética, valorização energética de resíduos.

ABSTRACT

Microgeneration allows private properties to produce their own energy and reduce the cost of energy purchased from the conventional grid. In the agricultural sector, spending on electricity can be impactful and encourage the implementation of alternative technologies that produce energy at low cost, reduce environmental impacts and create positive socio-economic impacts.

This work aimed to evaluate the viability of biogas production through the use of waste generated by sheep farming on a private property on the Island of Santo Antão.

Biogas is a gas mixture obtained by anaerobic digestion of organic matter, with its use it is possible to reduce greenhouse gas emissions. The technologies for converting biogas allow you to have different applications for biogas such as electrical production, heating, among others.

In the case of study, it describes the site of implementation of the biodigester, followed by the dimensioning of the biodigester that includes calculating many variables, it has been decided after that the materials to be used in the creation of the biodigester, eventually calculating the economic viability of this project accompanied by the final considerations. The estimated annual production of biogas is 384m^3 , which is equivalent to have an annual energy production of 2112Kwh of energy.

Key-words: Biogas, biodigester, sustainable energy, energy recovery of waste.

DEDICATÓRIA

Dedico a Deus, meu pai todo-poderoso e aos meus pais, que batalharam o possível aos seus alcances para que tivesse a melhor das educações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pela dedicação, amor, motivação e esforço que transmitiram ao longo da minha caminhada.

Quero agradecer minha orientadora, a Mestre Susana Castro, pela disponibilidade, esclarecimentos prestados, dedicação, apoio e pelo facto de acreditar na possibilidade de realização deste trabalho, mesmo com todas as dificuldades encontradas.

Agradeço ao senhor Pedro e aos seus trabalhadores pela disponibilização dos dados a ser estudados neste projeto. Aos meus professores pela dedicação na transmissão de conhecimentos ao longo do curso.

Aos meus amigos, colegas e familiares, agradeço o apoio, amizade, incentivo e confiança que me transmitiram ao longo de toda minha vida académica.

A todos, um muito obrigado.

ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE GRÁFICO	xi
LISTA ABREVIATURAS	xii
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	2
1.2. Objetivo Geral	2
1.3. Objetivos Específicos	3
1.4. Metodologia	3
1.5. Estrutura do Trabalho	3
II. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
2.1. Biomassa	5
2.2. Biogás	6
2.2.1. Definição de Biogás	6
2.2.2. História do Biogás	7
2.2.3. Algumas Tecnologias de Conversão de biogás	9
2.2.4. Motor Stirling	10
2.2.5. Motores a gás de ciclo Otto	12
2.2.6. Células de Combustível	13
2.3. Sistema Digestão Anaeróbica	14
2.3.1. Etapas de metabolismo	15
2.3.2. Fatores que influenciam a Digestão Anaeróbica	17

2.3.3.	Velocidade e Rendimento da Digestão Anaeróbica	22
2.4.	Biodigestor	23
2.4.1.	Principais Tipos Biodigestores Utilizados nos Meios Rurais	24
2.4.1.1.	Biodigestor Modelo indiano	24
2.4.1.2.	Biodigestor Modelo Chines	26
2.4.1.3.	Biodigestor Modelo Canadense	28
2.5.	Matéria-prima “Estrume Ovino e Caprino”	29
III.	CASO DE ESTUDO	32
3.1.	Localização Caso Estudo	32
3.2.	Descrição da Propriedade e Resíduos Produzidos	34
3.3.	Dimensionamento do biodigestor	34
3.4.	Instalação do Biodigestor	41
3.5.	Materiais Para Construção Biodigestor	42
3.6.	Estimativa de Produção de Biogás	43
3.7.	Uso do Biogás	44
IV.	ANALISE FINANCEIRO E ECONOMICO DA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS	46
4.1.	Fluxo de Caixa Cumulativo	47
4.2.	Retorno de Investimento	47
V.	CONCLUSÃO	49
VI.	REFERÊNCIAS	50
VII.	ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Composição do biogás.....	6
Tabela 2: Equivalência entre o Biogás e alguns outros combustíveis.....	7
Tabela 3: Equivalente Energético a 1m ³ de Biogás.....	10
Tabela 4- Faixas de temperatura de crescimento microbiano	19
Tabela 5: Inibidores	22
Tabela 6: Resíduos produzidos por espécies de animais (excrementos frescos).....	30
Tabela 7: Composição dos excrementos produzidos por diversas espécies de animais.....	30
Tabela 8: Expectativa de produção de biogás por biomassa	31
Tabela 9:Planilha para Calculo Volume de carga	36
Tabela 10: Volume Biodigestores	38
Tabela 11: Dimensões dos Biodigestores.....	40
Tabela 12: Potencial de produção de biogás a partir dejetos animais.	43
Tabela 13: Característica gerador.....	44
Tabela 15: Tabela de custos	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo Motor Stirling	12
Figura 2: Motor Ciclo Otto	13
Figura 3: Célula de Combustível	14
Figura 4: Esquema decomposição Anaeróbica	17
Figura 5: Modelo Biodigestor Indiano	25
Figura 6: Modelo Biodigestor Chines	27
Figura 7: Biodigestor Modelo Canadense	29
Figura 8: Mapa Santo Antão	33
Figura 9: Local Implementação	33
Figura 10: Imagem real de Biodigestor canadense	34
Figura 11: Layout Biodigestor	41
Figura 12: Gerador a gás	45

ÍNDICE GRÁFICO

Gráfico 1: Proveitos Anuais	47
Gráfico 2: Retorno de Investimento	48

LISTA ABREVIATURAS

% - Percentual

a.C – Antes Cristo

DAnimal - Dejeito por animal

ECV- Escudos Cabo verdeanos

CO₂ – Dióxido Carbono

CH₄ – Metano

COV - carga orgânica volumétrica

°C – Graus Celcius

g – Gramas

H₂ – Hidrogénio

H₂O – Água

KWh - quilowatt hora

Kg - quilograma

L – Litro

m³- Metros cúbicos

Nºovinos - Número de Ovinos

MCI- Motores combustão interna

NH₃ – Amónio

TRH - Tempo de retenção Hidráulica

Q - Vazão do resíduo

So - Concentração de matéria orgânica

V - Volume útil do Biodigestor

VDejetos - Volume dejetos

W – Watt

I. INTRODUÇÃO

Um dos aspetos importantes na sociedade moderna vem sendo a produção de energia elétrica.

O progresso da humanidade tem sido auxiliado pela produção de energia elétrica, mas cria também diversas preocupações, onde o prejuízo ao meio ambiente é a mais importante nos últimos tempos (Villullas, 2002).

Segundo Silva (2010), setores rurais de menor rendimento são afetados pelos impactes da elevação do valor da energia, a partir desse pressuposto é necessária a implementação de tecnologias alternativas, que produzam energias com custo reduzido resultando em impactes socioeconômicos e culturais positivos.

Uma alternativa que se revela cada vez mais promissora, é o aproveitamento da biomassa como fonte de energia, através da digestão anaeróbica de resíduos animais e vegetais, com o uso de biodigestores pode-se gerar energia proveniente do gás resultante do processo. O aproveitamento de biomassa utiliza os recursos disponíveis na agricultura, reduzindo a necessidade de energia proveniente de fontes externas e a consequente transferência de renda (Esperancini, 2007).

Cabo Verde é um país insular, constituído por 10 ilhas, carenciado de recursos naturais, o que implica a necessidade de importações de produtos de primeira necessidade, mas também de combustíveis fósseis e seus derivados como o gás butano que é usado por muitas famílias nas suas cozinhas. O transporte do gás butano para zonas mais remotas, consiste num grande desafio para as famílias, considerando a fragilidade financeira do meio faz com que as pessoas recorram a biomassa tradicional, como a lenha para o preparo das suas principais refeições.

A necessidade de procurar alternativas ao uso de combustíveis fósseis é alvo de pesquisas recorrente, visto que, são recursos não renováveis e limitados. Os biocombustíveis destacam-se como alternativa mais limpa e renovável em substituição desses.

1.1. Justificativa

As alterações climáticas e a fraca oferta segura de energia a preços acessíveis mostram-se como umas das principais inquietações da sociedade. As constantes oscilações dos preços de energia e os recentes eventos ambientais e sociais desastrosos observados levam-nos a refletir sobre a vulnerabilidade do sistema energético mundial e a capacidade de fornecimento de forma segura, eficiente e com qualidade. Hoje existe a necessidade de aproveitar ao máximo as fontes de energias renováveis existentes a fim de diminuir ou até anular a dependência dos combustíveis fósseis, com isso vem se acelerando a investigação e o progresso de projetos direcionados neste sentido.

O projeto surgiu no contexto de contribuir para a substituição do uso da biomassa tradicional (lenha) e também parcial ou totalmente o uso do gás butano (fonte de energia não renovável) em localidades rurais diminuindo dessa forma a emissão gases de efeito de estufa e evitando o desmatamento de áreas florestais. Pretende-se ainda viabilizar a produção de energia elétrica através do uso de biogás diminuindo dessa forma o uso de fontes não renováveis de energia.

Com este estudo pretende-se contribuir para aumentar os conhecimentos sobre a valorização energética de resíduos da agropecuária, informações que permitirão o uso destes para produção de biogás tendo dessa forma as propriedades rurais uma forma de aproveitamento para esses subprodutos e proporcionando uma maior qualidade de vida as pessoas incluídas nesse meio.

1.2. Objetivo Geral

- Projetar uma pequena unidade de produção do biogás para valorização dos resíduos da agropecuária ovina.

1.3. Objetivos Específicos

- Descrever o processo de produção de biogás;
- Analisar as tecnologias de produção biogás;
- Analisar os diferentes tipos de biodigestores e escolher o mais adequado;
- Dimensionar o Biodigestor de forma adequada e a suprir as necessidades energéticas;
- Realizar a análise da viabilidade económica do projeto.

1.4. Metodologia

A metodologia adotada na realização deste trabalho foi selecionada com base nos objetivos supracitados e baseia-se:

- ✓ Pesquisa bibliográfica (permite a recolha de informação necessária para sustentar o projeto);
- ✓ Recolha de dados no local de estudo (através da observação direta);
- ✓ Desenho do esquema dos biodigestores através do AutoCAD;
- ✓ Análise da viabilidade através do Microsoft Excel.

1.5. Estrutura do Trabalho

De acordo com os objetivos descritos, este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo encontramos a introdução da problemática tratada, a definição dos objetivos específicos e geral do trabalho, a descrição da metodologia de investigação e estrutura do trabalho.

No segundo capítulo fez-se o levantamento do estado de arte da biomassa, do biogás, retratando a sua história, as matérias-primas utilizadas na produção, tecnologias de produção.

No terceiro capítulo fez-se uma abordagem sobre o tema do projeto em si, onde é descrito o caso de estudo, o dimensionamento, a produção do biogás em termos teóricos, e posteriormente, são discutidos os resultados obtidos durante os mesmos.

No quarto capítulo fez-se a análise do plano de negócio (viabilidade económica e financeira) os custos de implementação e ganhos futuros.

No quinto e último capítulo fez-se as considerações finais do trabalho.

II. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. Biomassa

Todos os materiais que têm propriedade de se decomporem por efeito biológico, isto é, pela ação de diferentes bactérias, são considerados biomassa (Sganzerla, 1983).

De maneira geral podemos descrever a biomassa como a massa total de matéria orgânica que se acumula em um espaço vital. Desta forma são consideradas biomassa, todas as plantas e todos os animais inclusive os seus resíduos, as matérias orgânicas transformadas provenientes de indústrias alimentícias e indústrias transformadoras de madeira também são biomassa (Souza *et.al.*, 2004).

A importância vital da bioenergia¹ ao longo da história é um facto inegável. Desde o amanhecer dos tempos que este recurso tem sido a principal fonte de abastecimento das necessidades energéticas do homem e as civilizações passadas terão sido as primeiras – e talvez os maiores testemunhas disso mesmo. A biomassa foi a fundação sobre a qual as primeiras sociedades se ergueram e pode-se mesmo dizer que as florestas significaram na antiguidade aquilo que o petróleo significa nos dias de hoje (Sagar e Kartha, 2007).

Até o início do século XX, a biomassa era tida como a principal fonte energética, foi quando se teve início a chamada “era do petróleo” e a biomassa energética ficou praticamente esquecida, (Rossillo-Calle, 2000).

Staiss e Pereira (2001), relatam que os elementos primários da biomassa podem ser convertidos através de diferentes tecnologias em biocombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, que por sua vez se transformam em energias térmica, mecânica e elétrica.

¹ Bioenergia termo para referir a energia proveniente de material biológico como plantas, animais e resíduos orgânicos.

2.2. Biogás

2.2.1. Definição de Biogás

O biogás pode ser definido como uma mistura gasosa combustível obtida pela fermentação anaeróbica da matéria orgânica, composta por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Sua origem tanto pode ser natural quanto artificial, possui conteúdo energético semelhante ao do gás natural e pode ser utilizado para a geração de energias mecânica, elétrica e térmica (Roya *et al.*, 2011).

O biogás também conhecido por gás dos pântanos, gás de aterro, entre outros nomes, para Ferling (2003) define-se como o gás formado a partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica.

Na tabela 1 apresenta-se a composição do biogás, lembrando-se que esta pode variar dependendo da matéria-prima utilizada dentre outros fatores.

Tabela 1: Composição do biogás

Gás	Símbolo	Concentração do Biogás (%)
Metano	CH_4	50- 80
Dióxido de Carbono	CO_2	20- 40
Hidrogénio	H_2	1-3
Azoto	N_2	0,5-3
Gás Sulfúrico e outros	H_2S , CO , NH_3	1-5

Fonte: Própria, Adaptado La Farge, (1979)

O uso de biogás como fonte de energia renovável reduz a emissão não só dos gases de efeito de estufa como o metano e dióxido de carbono mas também de óxidos de azoto e hidrocarbonetos (Komiyama *et al.* 2006).

O potencial energético do biogás esta diretamente relacionado com a quantidade de metano presente, o que irá determinar o seu valor calórico. A biodigestão pode reduzir o potencial poluente das emissões dos resíduos orgânicos com alto teor de demanda bioquímica de oxigénio, e ao mesmo tempo, produzir metano e gerar como resíduo do processo, um adubo orgânico (Salomon; Lora, 2009). A tabela 2 apresenta a equivalência entre o biogás e alguns, combustíveis de uso mais comum.

Tabela 2: Equivalência entre o Biogás e alguns outros combustíveis

Combustível	Volume equivalente a 1 m³
Querosene	0,342L
Lenha	1,450Kg
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	0,396L
Óleo Diesel	0,358L
Gasolina	0,312L

Fonte: Sousa, Veloso e Araújo (1981).

2.2.2. História do Biogás

Segundo Galbiatti (2010), a busca e descoberta de novas fontes que gerem energia influenciam profundamente na ampliação das civilizações e no desenvolvimento da história humana. Por isso, o biogás tem sido motivo de fascínio e estudo há muito tempo.

Indicações históricas relatam que o biogás era utilizado para manter aceso o “fogo eterno” na Pérsia entre 6000 a.C. e 2000 a.C. e era símbolo de adoração da seita local. Foi relatado também como um “ar de fogo” na China em 347a.C., o relato foi adquirido em um manuscrito que informava que o mesmo poderia ser utilizado para iluminação. Um sistema de bambus transportava o gás do local onde brotava naturalmente até a cidade na província de Sichuan.

Na Europa, o gás natural foi descoberto no século XVII, embora não tenha despertado grande interesse (AGN, 2019).

O primeiro registo científico do biogás foi atribuído a Jan Baptista Van Helmont², em 1630, que descobriu a formação de gases inflamáveis pela decomposição de matéria orgânica. Algumas evidências sugerem que Shirley realizou essa descoberta em 1667, no qual denominou de biogás ou gás dos pântanos. Anos mais tarde identificou-se que suas descobertas foram baseadas nos estudos de Van Helmont. O químico inglês Humphry Davy, em 1808, produziu gás metano em laboratório com esterco bovino, mas foi em 1866 que o biólogo francês Antoine Béchamp demonstrou de forma evidente, que o gás metano era um processo biológico. Em 1895, houve a primeira utilização do gás metano produzido por fermentação, na cidade de Exeter na Inglaterra, o qual foi utilizado para a iluminação públicas.

Na Europa, o primeiro biodigestor que obteve biogás com resíduos orgânicos foi criado na Grã-Bretanha em 1911. Posteriormente houve o relato que a China desenvolveu um biodigestor com 8 metros cúbicos. A II Guerra Mundial gerou a necessidade de novas fontes de energia e assim foram criadas inúmeras instalações de biodigestores, mesmo após a guerra foram construídas cerca de mais 40 instalações de biodigestor anaeróbicas, mas devido o baixo custo dos combustíveis fósseis seu uso foi interrompido. Em 1984 na Dinamarca foi construída a primeira usina de biogás. Atualmente diversos biodigestores são construídos. (Lossel, 2011).

² Jean Baptista van Helmont (Bruxelas, 12 de janeiro de 1580 — Vilvoorde, Flandres, 30 de dezembro de 1644) foi um médico, alquimista, e fisiologista belga.

2.2.3. Algumas Tecnologias de Conversão de biogás

O biogás pode ser aproveitado pelo setor agropecuário para diversas aplicações, como por exemplo geração de energia elétrica, aquecimento, iluminação, entre outros. Pode também ser utilizado um sistema de cogeração³ que, diferente da geração convencional de eletricidade, aproveita o processo de diferentes formas. Uma forma de aproveitamento é do calor gerado pela potência mecânica do motor, que pode ser utilizado para aquecimento de água, aquecimento do biodigestor ou em qualquer outro uso que seja interessante para o produtor (Onudi, 2013).

Na maioria dos casos, são utilizadas usinas de cogeração com motores de combustão acoplados a um gerador. Os motores operam a uma rotação constante de forma que o gerador acoplado possa fornecer energia elétrica compatível com a frequência da rede. Para acionar o gerador ou gerar eletricidade, pode-se utilizar também microturbinas a gás, motores Stirling ou células de combustível como alternativas aos motores do ciclo Diesel ou ciclo Otto ignição (Probiogás, 2010).

A produção de energia elétrica a partir do biogás é independente de condições climáticas, ao contrário da energia solar ou eólica (Silveira e Villela, 2005).

O processo de conversão deste tipo de matéria-prima compara-se a geração com outros tipos de combustível como a gasolina, o álcool, o gás natural ou ainda o carvão. Verifica-se, conforme apresentado na Tabela 3, a energia contida em 1m³ de biogás puro é equivalente a 0.098 m³ de gasolina, 0.134 m³ de álcool, e 1.50 m³ de gás natural. Em média, Lindemeyer indica, em seus estudos, que 1 m³ de biogás seja capaz de gerar 2,21 kW/h de energia elétrica (Lindemeyer, 2008).

³ Cogeração é um processo de produção e utilização combinada de calor e eletricidade, proporcionando aproveitamento de mais de 60% da energia térmica proveniente do uso dos combustíveis do processo.

Tabela 3: Equivalente Energético a 1m³ de Biogás

Combustível	Quantidade Equivalente
Gasolina	0.098 m ³
Álcool	0.134 m ³
Gás natural	1.50 m ³
Carvão	1,51 m ³

Fonte: Própria, Adaptado de Lindemeyer (2008)

A produção de biogás pode ser aproveitada em diferentes métodos de geração ou uso de energia como em redes de gás, motores ou em combustão direta. O uso de combustão direta, por meio de motores de combustão interna (MCI) como por exemplo o de ciclo Otto, é uma das topologias mais utilizadas. Porém, esta não é a única tecnologia que existe para que o biogás seja utilizado como combustível para a geração de energia elétrica. Além dos MCI, existem equipamentos com topologia para o uso de dois tipos de combustíveis, microturbinas a gás, motores Stirling e célula a combustível (Coldebella, 2006).

2.2.4. Motor Stirling

O motor Stirling classifica-se como motor de ar quente ou expansão. Ao contrário dos motores a combustão, em que o pistão é movimentado pela expansão de gases de combustão interna, no motor Stirling o pistão é movimentado pela expansão de um gás encapsulado, o qual se dilata pela entrada de calor de uma fonte de energia externa. Como há uma dissociação da fonte de energia/calor e da geração de força do motor Stirling propriamente dita, o calor necessário pode ser fornecido de diferentes fontes energéticas, tais como de um queimador alimentado por biogás.

O princípio de funcionamento do motor Stirling baseia-se no efeito de que um gás, quando sujeito a uma alteração de temperatura, ocasiona uma modificação de volume que se converte em trabalho. Movimentado entre um espaço com temperatura constante elevada e um espaço

com temperatura constante baixa, o gás de trabalho permite a operação contínua do motor (Probiogás, 2010).

O motor Stirling é um motor parecido com as máquinas a vapor. Ele possui sistema fechado, em que a potência mecânica se desenvolve através do aproveitamento da expansão de um gás de trabalho. O motor é alternativo a pistão movido por uma fonte externa de calor (Salomon, 2007).

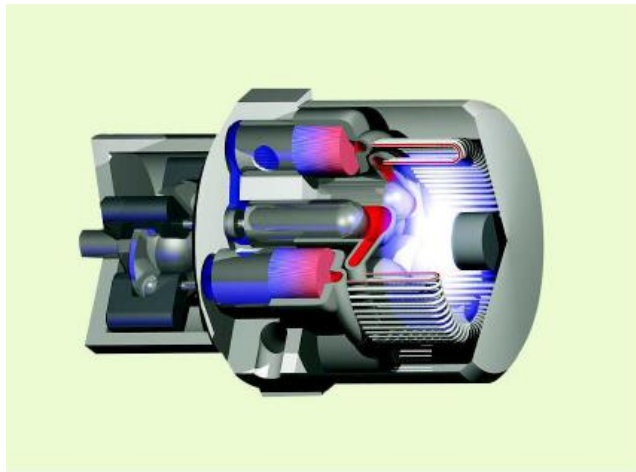
Segundo Salomon (2007), as principais vantagens deste tipo de motor são:

- Eficiência de aproximadamente 30%;
- Operação segura;
- Baixo nível de ruídos;
- Podem utilizar diferentes tipos de combustíveis;
- Há possibilidade de cogeração.

Uma vez que a combustão se dá externamente, o motor Stirling aceita também biogás de qualidade inferior, podendo ser utilizados gases com baixos teores de metano. Possivelmente, a maior vantagem do motor Stirling sobre motores convencionais de combustão de biogás é o fato de dispensar o tratamento preliminar do gás. A desvantagem é a lenta reação a variações de carga, o que tem menor importância em equipamentos estacionários como usinas de cogeração, sendo um fator restritivo, por exemplo, em veículos (Probiogás, 2010).

Na figura 1 encontra-se um exemplo dum motor Stirling.

Figura 1: Exemplo Motor Stirling



Fonte: (Qalovis, 2017)

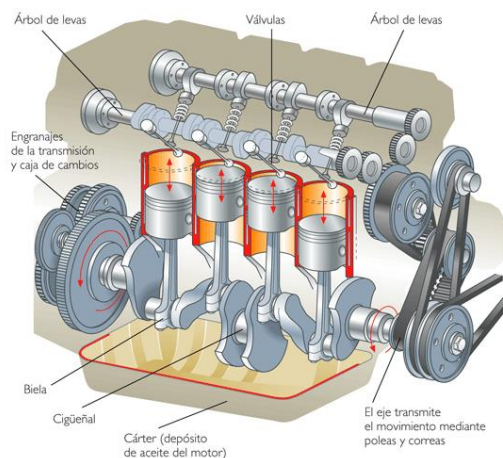
2.2.5. Motores a gás de ciclo Otto

Segundo Zareh (1998), os motores a gás funcionam segundo os princípios dos motores diesel e gasolina. De fato, alguns motores a gás são motores diesel ou a gasolina, convertidos para funcionar com gás. A conversão consiste em algumas modificações nos sistemas de alimentação e de ignição e também na taxa de compressão. Os motores a gás, de ignição por centelha, possuem uma eficiência volumétrica menor que o equivalente motor com combustível de petróleo, pelo fato da adição de gás reduzir o volume de ar absorvido. Contudo, a menor eficiência volumétrica é, geralmente, compensada pelo fato de que os motores a gás conseguem funcionar com taxas de compressão elevadas, 12-13:1. Isto é possível porque o poder antidetonante do gás está ligado ao número de metano, ou seja, quanto maior a quantidade de metano maior será a resistência à detonação.

Os motores a gás de ciclo Otto foram especialmente desenvolvidos para operar a gás e funcionam sob o princípio dos motores Otto. Para permitir a redução das emissões de óxidos de azoto, eles são operados como motores de mistura pobre com excesso de ar. Na operação com mistura pobre, uma quantidade menor de combustível é convertida no motor, ocasionando a queda do seu desempenho, a qual é compensada pela ação de

turbocompressores. Motores a gás do ciclo Otto exigem um teor de metano mínimo de 45% no biogás. Teores de metano inferiores resultam na parada do motor (Probiogás,2010).

Figura 2:Motor Ciclo Otto



Fonte: Wordpress (2018)

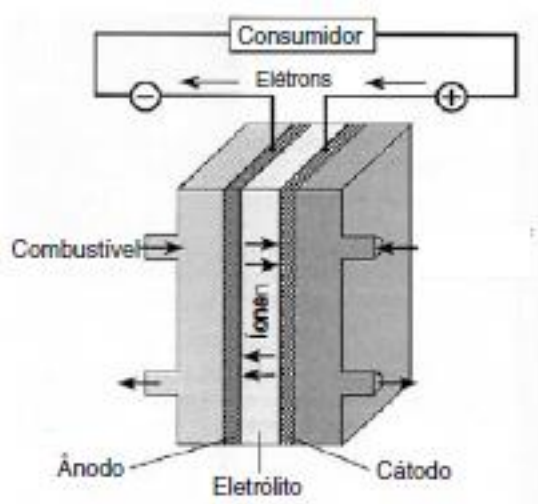
2.2.6. Células de Combustível

A forma como as células de combustível operam é fundamentalmente distinta daquela que baseia as técnicas convencionais de geração de energia pelo biogás. Nesse caso, a conversão da energia química em eletricidade não é direta. A célula de combustível proporciona uma elevada eficiência elétrica de até 50% a nível de emissões quase nulo. A operação a cargas parciais também se caracteriza por bons graus de eficiência.

O princípio de funcionamento da célula de combustível equivale ao inverso da eletrólise da água. A eletrólise faz uso de cargas elétricas para realizar a quebra de moléculas de água em hidrogênio (H_2) e o oxigênio (O_2). Inversamente, em uma célula de combustível o H_2 e o O_2 são submetidos a cargas elétricas e calor para formar a água (H_2O). Dessa forma, o "combustível" para que a célula realize a reação eletroquímica é constituído pelo hidrogênio e pelo oxigênio sendo que a célula essencialmente sempre tem a mesma estrutura. A célula propriamente dita é composta de duas placas que conduzem o gás (ânodo e cátodo), separados por um eletrólito (Probiogás, 2010).

As células a combustível possuem o processo semelhante ao de uma bateria, pois elas convertem energia química em eletricidade permitindo altas eficiências. Analogamente a uma bateria que é constantemente recarregada em um processo envolvendo dois reagentes (hidrogénio e ar), a célula a combustível é beneficiada pela energia da reação entre o combustível e o agente oxidante (Salomon, 2007).

Figura 3: Célula de Combustível



Fonte: Probiogás (2008)

2.3. Sistema Digestão Anaeróbica

A digestão anaeróbica é um processo de fermentação de resíduos orgânicos biodegradáveis provenientes de áreas urbanas, rurais ou industriais, podendo contemplar uma ou mais das seguintes finalidades: tratamento de materiais orgânicos poluentes e microrganismos patogênicos, produção de biogás e produção de biofertilizantes mais estáveis, com melhor qualidade sanitária e mais ricos em nutrientes que o seu material original (Souza, 1984).

A digestão anaeróbia é um processo realizado por determinados microrganismos, que atuam na ausência de oxigénio (O_2) e que degradam a estrutura de substratos orgânicos complexos, produzindo compostos simples como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Neste

processo os microrganismos asseguram ainda a produção de energia necessária ao seu próprio crescimento e reprodução. Dado ocorrer em ambiente aquoso, as fontes de biomassa com elevados níveis de água podem ser processadas sem qualquer pré-tratamento (Ward *et al.*, 2008).

A importância da digestão anaeróbia no tratamento de resíduos aumentou expressivamente nas últimas décadas, principalmente, por apresentar um balanço energético mais favorável em relação aos processos aeróbios convencionais, como o baixo consumo de energia, a reduzida produção de lodo e a possibilidade de recuperação e utilização do metano como gás combustível (Moraes, 2005).

Segundo Chernicharo (2007), em termos de processo metabólico, a digestão anaeróbia envolve etapas sequenciais de metabolismo complexo, as quais dependem de, no mínimo, três grupos fisiológicos distintos de microrganismos.

- Processo metabólico 1 - Hidrólise e acidogénese: ação de bactérias fermentativas ou acidogénicas;
- Processo metabólico 2 - Acetogénese: ação de bactérias sintróficas ou acetogénicas;
- Processo metabólico 03 – Metanogénese: ação de microrganismos metanogénicos.

2.3.1. Etapas de metabolismo

Na hidrólise / acidogénese, ocorre a conversão de compostos orgânicos complexos (hidratos de carbono, proteínas, lípidos) em compostos mais simples (ácidos orgânicos – principalmente, hidrogénio e dióxido de carbono), através da hidrólise e fermentação. Este processo de conversão se inicia com a transformação da matéria orgânica, mais complexa em materiais dissolvidos, por meio da ação de exo enzimas⁴ específicas expelidas pelas bactérias

⁴ Enzimas são substâncias do grupo das proteínas e atuam como catalisadores de reações químicas.

fermentativas hidrolíticas. Os materiais dissolvidos podem ser mais facilmente absorvidos pelos microrganismos.

Após a hidrólise da matéria orgânica, os compostos solúveis produzidos são então metabolizados no interior das células bacterianas, através do metabolismo fermentativo.

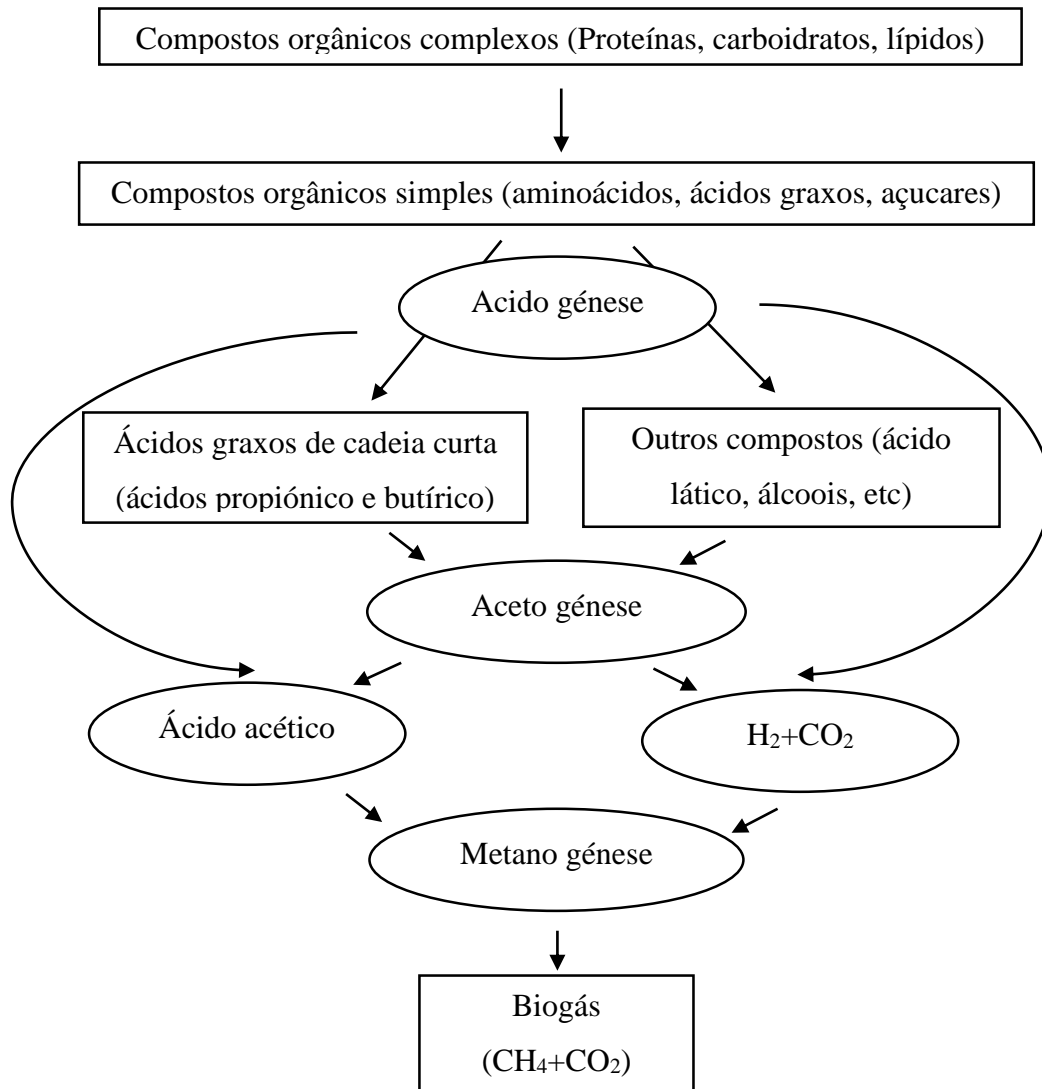
Segundo Chernicharo (2007), os microrganismos fermentativos são os primeiros a atuar na etapa sequencial de deterioração do resíduo. A etapa ácido génica só é considerada como limitante do processo se o material a ser degradado não for facilmente hidrolisável.

Na etapa metabólica seguinte, denominada aceto génese, as bactérias aceto génicas, realizam a conversão de compostos orgânicos intermediários (propionato, butirato) em compostos também mais simples (acetato, hidrogénio e dióxido de carbono). Estes servirão como substrato apropriado para os microrganismos metanogénicos.

A metanogénese, etapa final do processo de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono, é realizada pelos microrganismos metanogénicos, classificados dentro do domínio *Archaea* (grupo distinto das bactérias típicas), estes promovem a conversão do acetato e hidrogênio produzidos nas etapas anteriores, em metano e dióxido de carbono.

As *arqueas* metanogénicas são constituídas por microrganismos anaeróbios obrigatórios, os quais utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo o ácido acético, hidrogénio / dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Estes microrganismos desempenham um papel fundamental em ambientes anaeróbios, uma vez que são responsáveis pela manutenção da pressão parcial de hidrogénio, no meio, em níveis suficientemente reduzidos, e, conseqüentemente, tornando favoráveis as reações efetivadas pelas bactérias acetogénicas (produtos solúveis mais oxidados), que são substrato para a própria metanogénese (Chernicharo, 2007).

Figura 4:Esquema decomposição Anaeróbica



Fonte: Própria, Adaptado Probiogás (2010).

2.3.2. Fatores que influenciam a Digestão Anaeróbica

Existem diversos fatores que poderão afetar a digestão anaeróbica, pH, balanceamento de macro e micronutrientes, temperatura, tempo de retenção hidráulica e agitação do sistema entre outros.

pH - O pH afeta diretamente o nível da atividade metabólica dos microrganismos metanogénicos a qual pode terminar em valores fora da faixa de 6,3 a 7,8. Ainda assim, na fase fermentativa onde ocorre a digestão ácida, a população microbiana tolera pH em níveis mais ácidos ou alcalinos. No entanto, o pH abaixo de 4,5 detém a atividade de todos os microrganismos implicados no processo. O pH afeta não somente na produção do biogás como também na sua qualidade, em que, valores abaixo de seis resultam em um biogás pobre em metano (Lema *et al*, 1997).

Portanto, é de fundamental importância buscar manter uma faixa adequada, a qual possibilite o desenvolvimento máximo da maior parte dos microrganismos envolvidos, uma vez que o pH está diretamente relacionado às concentrações de ácidos orgânicos voláteis no meio, resultando do equilíbrio entre populações de microrganismos e a alcalinidade total do sistema. Qualquer desequilíbrio no sistema acarreta em uma aglomeração de ácidos orgânicos no meio e em consequência, queda do pH (Pereira *et al.*, 2009).

Temperatura - Entre os fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes na seleção das espécies, isso em virtude de os microrganismos não possuírem meios de controlar sua temperatura interna, a qual é então determinada pela temperatura ambiente externa.

A temperatura influencia diretamente na etapa de hidrólise, onde caso ocorra redução na atividade enzimática, a velocidade global da reação do processo de degradação anaeróbia poderá ser limitada, dado que a hidrólise é a etapa inicial e responsável por tornar disponível o substrato para as demais etapas (Chernicharo, 2007).

De forma geral, quanto maior for a temperatura do meio, maior será a velocidade de uma reação química. Essa regra, porém, nem sempre se aplica aos processos biológicos de transformação e degradação, uma vez que cada microrganismo envolvido nos processos metabólicos tem a sua própria faixa de temperatura ideal. A variação da temperatura acima

ou abaixo dessa faixa ideal pode acarretar a inibição dos microrganismos, podendo levar até mesmo a danos irreversíveis (Probiogás,2010).

Segundo Lettinga et al. (1996), na maioria dos processos biológicos, três faixas de temperatura podem ser associadas ao crescimento microbiano (Tabela4).

Tabela 4- Faixas de temperatura de crescimento microbiano

Faixa	Intervalo (°C)
Psicrófila	Entre 0 e aprox.20
Mesófila	Entre 20 e aprox.45
Termófila	Entre 45 e 70, e acima

Fonte: Própria, Adaptado de Lettinga et al. (1996).

Nutriente - A presença de concentrações adequadas de macro e micronutrientes é fundamental para que os processos de tratamento de efluentes sejam operados com êxito (Bohrz, 2010).

Os principais nutrientes para a vida dos microrganismos anaeróbios são o carbono, azoto e o fósforo, bem como uma série de elementos minerais como enxofre, ferro, potássio, sódio, cálcio e magnésio, fornecidos principalmente pela hidrólise dos carboidratos, das proteínas e dos lipídios (Park, 2012). Tais nutrientes, em níveis balanceados, influenciam positivamente o desenvolvimento dos microrganismos e, conseqüentemente, o processo de digestão e de produção de biogás.

A proporção adequada entre macro e micronutrientes é um pré-requisito para a estabilidade do processo. Após o carbono, o azoto é o nutriente mais importante, sendo necessário para a formação de enzimas responsáveis pela realização do metabolismo. Por isso, é importante que o substrato tenha a relação C/N correta. Uma relação C/N muito elevada (muito carbono e pouco azoto) reduz a atividade metabólica. Como consequência, o carbono não é completamente degradado e o rendimento de metano não atinge o seu pico máximo.

Inversamente, a abundância de azoto pode causar a formação excessiva de amônia (NH₃), capaz de inibir o crescimento das bactérias mesmo em baixas concentrações, podendo até ocasionar o colapso de toda a população de microrganismos. Por isso, para que o processo transcorra adequadamente, a relação C/N deve estar na faixa de 10 a 30 (Probiogás, 2010).

Tempo de Retenção Hidráulica - É o tempo necessário para que um substrato qualquer seja totalmente digerido no biodigestor, ou seja, é o tempo entre a entrada do efluente e a saída do afluente do digestor (Comastri Filho, 1981).

Seu valor depende da biomassa utilizada, do tipo de digestor, além de outros fatores, mas em geral pode variar de dias, em certos biodigestores rurais, a apenas algumas horas, em biodigestores industriais (Salomon, 2007).

Agitação do sistema - Um nível de produção elevado de biogás só é possível através do contato intenso entre as bactérias e o substrato, o que geralmente é obtido pela agitação no biodigestor. Em biodigestores sem agitadores, após um período observa-se a separação do conteúdo e a formação de camadas em virtude da diferença de densidade entre as várias substâncias que compõem o substrato, e também pelo empuxo provocado pela formação de gás. Por causa da sua densidade mais elevada, a maior parte da massa de bactérias se encontra em baixo, sendo que o substrato em decomposição frequentemente se acumula na camada superior. Em casos como esse, a área de contato entre essas duas camadas está restrita ao ponto em que elas se tocam e a decomposição é muito baixa. Além disso, forma-se um sobrenadante de sólidos flutuantes que dificulta a saída do gás (Maurer *et al.*, 1980).

Sejam os sistemas de agitação feitos através de agitação mecânica, retorno de gás produzido, recirculação do lodo ou até pela liberação de gás na forma de pequenas bolhas, permitem um maior contato entre os microrganismos e a matéria orgânica, evitando a formação das chamadas “zonas mortas”, as quais são resultado da sedimentação do lodo e podem causar perda de parte da capacidade útil do reator (Bohrz, 2010).

Inibidor - A inibição da produção de gás ou do processo pode ser ocasionado por diferentes fatores. Por um lado, ela pode ter razões de cunho técnico e operacional. Por outro lado, o andamento do processo pode ser retardado pela ação de substâncias inibidoras, que, em determinadas circunstâncias, são capazes de diminuir a taxa de degradação mesmo em baixas concentrações. Em concentrações tóxicas, podem até ocasionar a parada do processo de digestão.

É importante observar que o carregamento excessivo de substrato no biodigestor também pode inibir o processo de digestão, uma vez que praticamente qualquer substância em elevadas concentrações em um substrato pode influenciar negativamente a atividade bacteriana. Isso se aplica principalmente a antibióticos, solventes, desinfetantes, herbicidas, sais e metais pesados, substâncias capazes de inibir o processo de digestão mesmo em pequenas quantidades. O aporte de antibióticos geralmente se dá pela adição de adubos orgânicos ou gorduras animais, sendo que o efeito inibidor varia bastante entre os diferentes antibióticos. Em concentrações muito elevadas, os micronutrientes essenciais também podem ser tóxicos para os microrganismos (Probiogás, 2010).

De seguida é apresentado na tabela 5 os inibidores e sua concentração toxica em processos de digestão anaeróbica.

Tabela 5: Inibidores

Inibidor	Concentração de Inibição	Observação
Oxigênio	> 0,1 mg/l	Inibição das arqueas Metanogénicas anaeróbias obrigatórias.
Sulfeto de hidrogênio	> 50 mg/l H ₂ S	Quanto menor o pH, maior o efeito inibitório.
Ácidos graxos voláteis	> 2.000 mg/l HAc (pH = 7,0)	Quanto menor o pH, maior o efeito inibitório. Alta adaptabilidade das bactérias
Nitrogênio amoniacal	> 3.500 mg/l NH ₄ + (pH = 7,0)	Quanto maiores o pH e a temperatura, maior o efeito inibitório. Alta adaptabilidade das bactérias
Metais pesados	Cu > 50 mg/l Zn > 150 mg/l Cr > 100 mg/l	Só metais dissolvidos apresentam efeito inibidor. Descontaminação pela precipitação de sulfeto.
Desinfetantes antibióticos	N.E.	Efeito inibitório varia com o composto.

Fonte: Própria, Adaptado Probiogás (2010)

2.3.3. Velocidade e Rendimento da Digestão Anaeróbica

Determina-se o rendimento de um sistema de digestão anaeróbica efetuando a razão do volume de gás produzido em litros (Lgás CNTP), pela quantidade de matéria orgânica adicionada ao sistema em gramas (g). A concentração de matéria orgânica é avaliada pela concentração de sólidos voláteis presentes no material adicionado. Deste modo pode-se observar valores de rendimento que vão de 0,2 a 0,7 Lgás/g de sólidos voláteis adicionados, do volume total de gás produzido 50 a 70% é composto por metano (CH₄) e o restante é constituído principalmente de dióxido de carbono (CO₂).

Outro fator de fundamental importância para determinar o rendimento e viabilidade do sistema é a velocidade da digestão, normalmente representada pelo tempo de retenção hidráulica (TRH) que pode ser definido pela Equação 1 (Souza, 1984).

$$TRH = \frac{V}{Q} \text{ [s]}$$

TRH = Tempo de retenção Hidráulica (s);

V = Volume útil do Biodigestor (m³);

Q = Vazão do resíduo (m³.s⁻¹);

Segundo Souza (1984) para determinar o volume de material que deve ser aplicado ao sistema de digestão é necessário analisar a concentração de matéria orgânica presente na carga em gramas por litro (g/L).O volume de carga orgânica aplicada ao digestor é inversamente proporcional ao tempo de retenção hidráulica.

“A Carga orgânica volumétrica (COV) é definida como a quantidade de massa 18 aplicada diariamente ao reator, por unidade de volume do mesmo” (MACEDO *et al.*,2013 apud Chernicharo, 2007).Como apresentado na Equação 2.

$$COV = \frac{Q \cdot So}{V} \text{ [kg.m}^{-3}\text{.s}^{-1}\text{]}$$

COV = carga orgânica volumétrica (kg.m⁻³.s⁻¹);

So= Concentração de matéria orgânica (g.L⁻¹) ou (kg.m⁻³);

Q = Vazão de resíduo (m³.s⁻¹);

V=Volume útil do biodigestor (m³).

2.4. Biodigestor

A produção do biogás na prática só é possível devido ao uso de um equipamento chamado biodigestor. Trata-se de um equipamento formado por uma câmara fechada onde é depositado o material orgânico em solução aquosa, sofrendo fermentação anaerobiamente, libertando o biogás que se acumulará na parte superior da referida câmara (Deganutti *et al.*, 2002).

Podemos definir os biodigestores anaeróbios como sendo uma câmara fechada, onde são colocados os substratos orgânicos para serem degradados na ausência de oxigênio molecular, tendo como produto a formação do biogás e um efluente rico em nutrientes (Filho, 2014).

A estrutura do biodigestor pode ser cilíndrica, vertical e superficial, ou seja, acima do solo, acompanhada de uma campânula onde se acumula o gás que é desprendido da digestão da biomassa chamado de gasômetro (Pinto, 2008).

A finalidade dos biodigestores é criar um ambiente ideal para o desenvolvimento da cultura microbiana, responsável pela digestão anaeróbia da biomassa, segundo Comastri Filho (1981).

Existem diversos modelos de biodigestores mas neste trabalho basearemos as nossas pesquisas basicamente nos modelos mais encontrados no meio rural.

2.4.1. Principais Tipos Biodigestores Utilizados nos Meios Rurais

Entre os modelos de biodigestores rurais simplificados mais utilizados distinguem-se os seguintes tipos principais: o biodigestor Modelo Canadense, o biodigestor com cúpula fixa (Modelo Chinês), o biodigestor com campânula flutuante (Modelo Indiano).

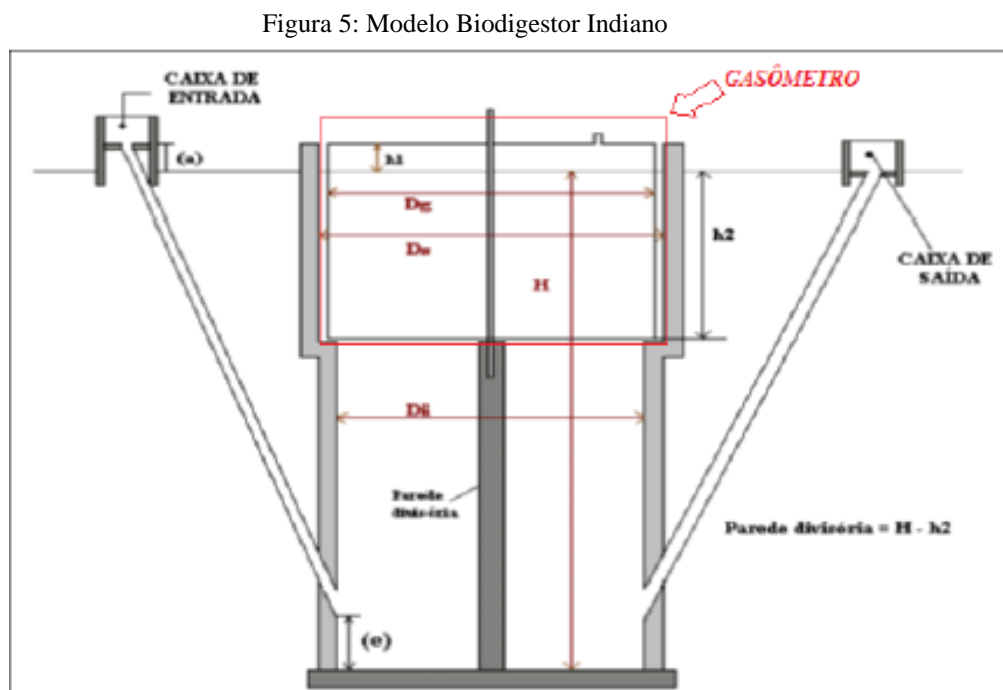
2.4.1.1. Biodigestor Modelo indiano

Este tipo de modelo é caracterizado por possuir uma campânula que é uma espécie de tampa conhecida como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou pode estar em um selo d'água externo. Sua estrutura é composta de uma parede central que serve para dividir o tanque de fermentação de duas câmaras, para assim permitir que o material possa circular pelo interior da câmara de fermentação.

Para a alimentação do biodigestor indiano o resíduo deverá apresentar uma concentração de sólidos totais não superiores a 8% pois à, a necessidade da circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação para dessa forma evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material. A alimentação geralmente é por dejetos de bovinos e/ou suínos, e o abastecimento deve ser contínuos (Tarrento, 2006).

O biodigestor indiano é característico por possuir pressão de operação constante, isso significa que o volume de gás produzido não é consumido de imediato e faz com que o gasômetro tende a se deslocar verticalmente aumentando o volume do mesmo mantendo a pressão no interior (Deganutti et al., 2002).

A figura 5 indica o modelo de um biodigestor do tipo indiano:



Fonte Deganutti et. al (2002).

Segundo Deganutti et. al. (2002) observando a Figura 1 pode-se definir:

- **H** - altura do nível do substrato;

- **Di** - diâmetro interno do biodigestor;
- **Dg** - diâmetro do gasômetro;
- **Ds** - diâmetro interno da parede superior;
- **h1** - altura ociosa (reservatório do biogás);
- **h2** - altura útil do gasômetro;
- **a** - altura da caixa de entrada;
- **e** - altura de entrada do cano com o afluente.

Quando se pensa em construir um biodigestor do modelo indiano é preciso levar em consideração que uma das vantagens desse modelo é o fato de que sua campânula flutuante permite manter a pressão de escape de biogás estável, ou seja, não há necessidade de regulação constante dos aparelhos que utilizam o metano. Porém como já foi observado anteriormente uma das desvantagens é o preço da construção da campânula que normalmente é moldada em ferro (Sganzerla, 1983 *apud* Gaspar, 2003).

Segundo Gaspar 2003, o modelo indiano oferece algumas vantagens em relação ao modelo chinês pois o mesmo pode ser adaptado ao clima local e ao tipo de solo não tendo a necessidade de se estabelecer medidas fixas para o diâmetro e a profundidade, apenas a necessidade que se observe a relação de capacidade do tanque digestor e da campânula.

2.4.1.2. Biodigestor Modelo Chines

O modelo de biodigestor chinês é constituído por uma câmara cilíndrica em alvenaria, onde ocorre a fermentação, com teto curvo, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás.

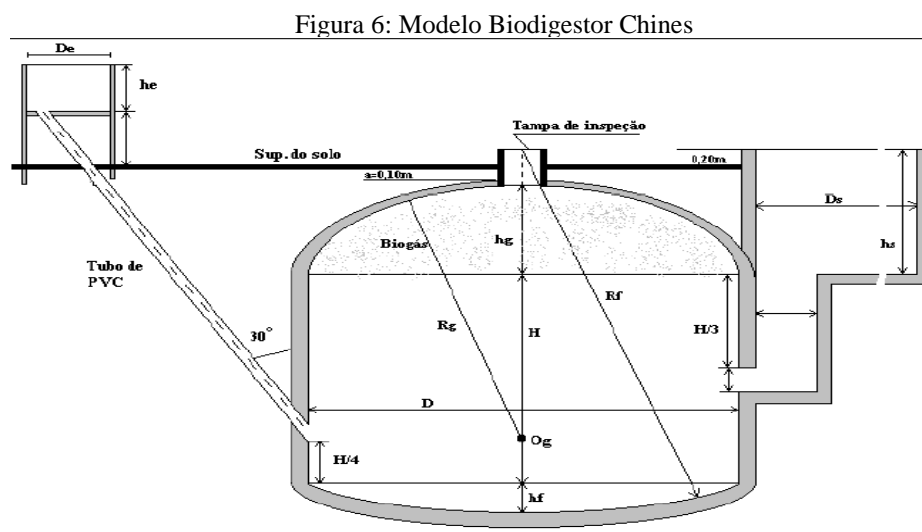
O funcionamento desse biodigestor baseia-se no princípio de prensa hidráulica, sendo assim elevações de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás, terão como resultado a movimentação do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando na ocorrência de um alívio na pressão. Como característica em comum com o biodigestor do modelo indiano, o substrato deve se apresentar com uma concentração de

sólidos totais em torno de 8% com fornecimento contínuo, para evitar entupimentos no sistema de entrada e facilitar a circulação do material (Deganutti *et al.*, 2002).

Devido às características de variação de pressão no gasômetro, caso seja necessário que a pressão seja mantida constante para alimentação de equipamentos, como por exemplo, queimadores de fogões, é indispensável o uso de um regulador de pressão, ou ainda, que o gás seja armazenado em um depósito de gás flutuante.

O modelo chinês oferece baixo custo de construção, não possui partes móveis, não possui partes metálicas que podem sofrer oxidação, sendo assim, tendem a ser mais duráveis em comparação com outros modelos. Assim como o modelo indiano, o modelo de biodigestor chinês é construído soterrado, dessa forma, ocupa pouco espaço acima do solo, portanto são protegidos contra as variações climáticas da superfície, especialmente em regiões que apresentam temperaturas baixas principalmente no inverno. Em sua construção, geralmente ocupam mão-de-obra e materiais locais. (Andrade *et. al.*, 2002).

A figura6 mostra o modelo de um biodigestor do tipo chinês:



Fonte Deganutti *et. al* (2002).

Observando a Figura 2 pode-se definir segundo Deganutti *et. al.*, (2002).

- **D** -diâmetro do corpo cilíndrico;
- **H** -altura do corpo cilíndrico;
- **Hg** -altura da calota do gasômetro;
- **hf** -altura da calota do fundo;
- **Of** -centro da calota esférica do fundo;
- **Og** -centro da calota esférica do gasômetro;
- **he** -altura da caixa de entrada;
- **De** -diâmetro da caixa de entrada;
- **hs** -altura da caixa de saída;
- **Ds** -diâmetro da caixa de saída;
- **A** -afundamento do gasômetro.

2.4.1.3. Biodigestor Modelo Canadense

O modelo canadense se diferencia pelo fato de ser do tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga feita em alvenaria e com largura maior que a profundidade, possuindo, então, uma maior área de exposição ao sol, possibilitando em uma grande produção de biogás e também evitando o entupimento (Castanho & Arruda, 2008).

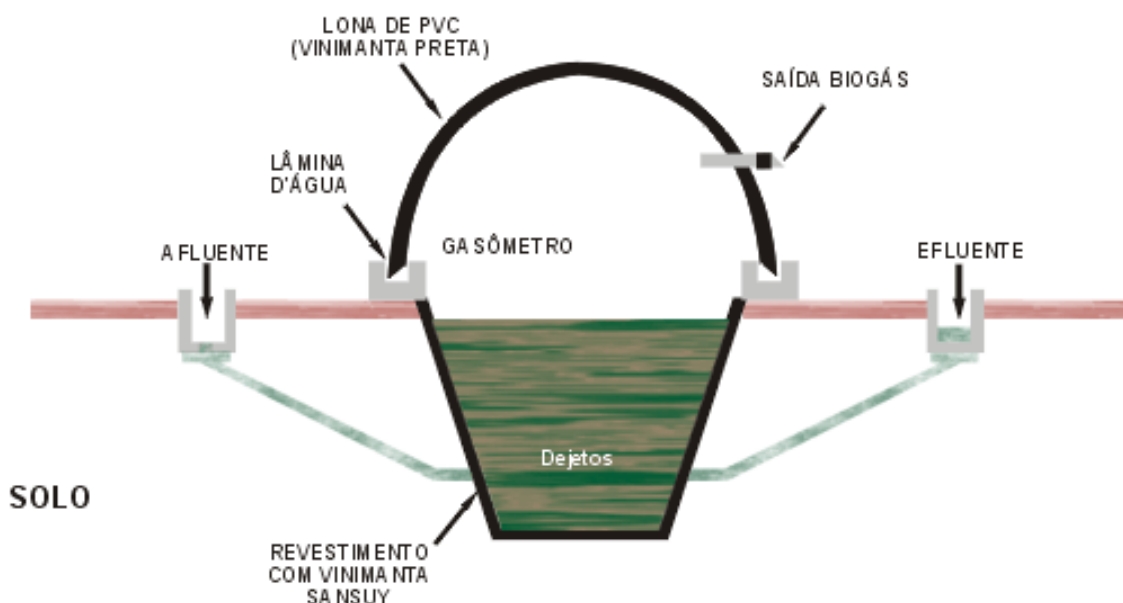
Uma câmara de fermentação subterrânea que é revestida com lona plástica. Uma manta superior para reter o biogás produzido de modo a formar uma campânula de armazenamento. Por ultimo uma caixa de saída onde o efluente é liberado. Existe também um registro para saída do biogás e um queimador, que fica conectado ao registro de saída do biogás. (Pereira *et al.*, 2009).

Segundo Pereira *et al.*, 2009 o local da instalação do biodigestor deve proporcionar o menor risco de ocorrer furos na manta superior que venham a causar vazamento de gás. Pois durante o processo de produção de gás, a cúpula do biodigestor infla, pois este como dito anteriormente é feita em material plástico maleável também chamado de PVC, para que possa ser retirada quando necessário. Esta cúpula em PVC é responsável pelo aumento do custo final do biodigestor (Castanho & Arruda, 2008).

Este biodigestor precisa ser totalmente vedado e pode ser abastecido de forma contínua ou por batelada. O biodigestor tem a vantagem de poder ser usado tanto em pequenas quanto em grandes propriedades e também em projetos agroindustriais (Oliver, 2008).

Na figura 7 encontra-se o modelo do biodigestor canadense.

Figura 7: Biodigestor Modelo Canadense



Fonte: Manual de Treinamento em Biodigestão (2008)

2.5. Matéria-prima “Estrume Ovino e Caprino”

Os resíduos de origem animal, conhecidos também como estrume, são constituídos pela mistura de fezes, urina, poeira e camas, que geralmente são feitas de compostos orgânicos, como por exemplo palha, serragem, folha seca, terra, entre outros (Amorim, 2002).

Moffitt (1999) revela que as características das fezes são influenciadas por vários fatores, como por exemplo, clima, espécie, dieta, tipo do confinamento, idade, estágio de ciclo reprodutivo, entre outros. Ainda diz que o modo de armazenamento e tratamento dos resíduos também são influenciados pela flutuação, sedimentação e degradação biológica.

O esterco ovino é avaliado por Alves e Pinheiro (2005) como “um produto valioso e sua utilização prevê a possibilidade de recuperação de terrenos degradados”, bem como uma alternativa de fonte de renda muito importante para os produtores.

Como dado para orientação, a Tabela 7 mostra valores médios dos resíduos produzidos por algumas espécies de animais do setor pecuário. É possível notar que a quantidade de resíduos produzidos por animal varia desde 0,1kg/d em aves até 50kg/d em vacas leiteiras (Onudi, 2013).

Tabela 6: Resíduos produzidos por espécies de animais (excrementos frescos)

Espécie Pecuária	Peso Animais (kg)	Quantidade (kg/d)	Peso vivo (%)
Bovinos de carne	200-500	15-30	5,3-7
Vacas leiteiras	450-600	30-50	6-9
Ovinos	45-50	1,5-5	3-10
Porcos adultos	160-250	5,8-25	2,5-10
Porcos de engorda	45-100	3-9	5-10
Porcos pós-desmame	8-40	1,3-4,5	7-17
Frangos de carne	1-2,5	0,10-0,17	6-8
Poedeiras	2-2,5	0,15	0,25

Fonte: Própria, Adaptado de (AEE, 2010) apud (Onudi, 2013)

Na Tabela 7 estão apresentadas algumas características dos excrementos produzidos por várias espécies de animais, com base na concentração de nutrientes (Marchiori, 1990).

Tabela 7: Composição dos excrementos produzidos por diversas espécies de animais.

Animais	Água (%)	Azoto (Kg/t)	Fósforo (kg/t)	Potássio (kg/t)
Aves	68	14	9.5	3.5
Ovinos	64	14	5	12
Equinos	59	6.5	2	7.5
Suínos	87	5	3	4

Fonte: Própria, Adaptado de (Jorge 1983), apud (Marchiori, 1990)

Referente as características dos dejetos ovinos, é importante destacar sua característica de degradação por microrganismos, o que gera o biogás. Para nosso estudo, os gases de maior importância, resultantes do manejo dos dejetos, produzidos em condições anaeróbicas, são o Metano (CH_4), Sulfeto de hidrogénio (H_2S) e a Amónio (NH_3) (Corbitt, 1990).

A Tabela seguinte mostra a capacidade de produção de biogás por espécie de animal, bem como a concentração de metano. As concentrações de metano variam dentro das espécies de acordo com a alimentação, modo de confinamento, idade, entre outros.

Tabela 8: Expectativa de produção de biogás por biomassa

Biomassa Utilizada (dejetos)	Produção de Biogás (a partir material seco em $\text{m}^3.\text{t}^{-1}$)	Percentual de gás metano produzido
Bovinos	270	55%
Suínos	560	50%
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

Fonte: Própria, Adaptado Colatto e Langer (2011)

III. CASO DE ESTUDO

3.1. Localização Caso Estudo

A Ilha de Santo Antão fica situada a Norte, no arquipélago de Cabo Verde, entre os paralelos $17^{\circ}12'$ e $16^{\circ}54'$ de latitude Norte e os meridianais $25^{\circ}22'$ e $24^{\circ}58'$ de longitude Oeste de Greenwich. Faz parte das Ilhas do Barlavento do arquipélago, é de origem vulcânica, com uma superfície de 779 km^2 , 42750 metros de comprimento, 23970 metros de largura e 1979 metros de altitude, sendo a mais montanhosa e setentrional das ilhas (Coutinho, 2005).

A morfologia da ilha está fortemente condicionada pela sua natureza vulcânica, devido as formações litológicas dominantes e pelo clima como fator determinante nos processos erosivos antigos e atuais.

Na morfologia da ilha destaca-se uma parte central que constitui uma ampla plataforma planáltica de 33 km de extensão no sentido E-W, inserida entre as altitudes 1000 e 1500m, da qual se erguiam numerosos cones vulcânicos, entre os quais o Tope de Coroa, com 1980 m, que representa o ponto mais alto da ilha. A superfície planáltica central está circundada por duas grandes vertentes, a do lado setentrional (Norte), designadamente, a inclinada para o mar, entalhada profundamente pela rede hidrográfica da qual se destacam as ribeiras Grande, Torre, Paul e Garça, e a vertente do lado meridional (Sul). Esta última apresenta inclinações moderadas e suaves nas faixas de maiores altitudes e nas zonas litorâneas, respetivamente (Gomes, 2001).

A imagem na figura 8 representa o mapa da ilha de Santo Antão sendo que foi destacado a laranja a zona de implementação do projeto.

Figura 8: Mapa Santo Antão



Fonte: PINTEREST

De seguida é apresentado uma imagem de satélite do local de implementação do projeto que será na localidade de Garça na zona de Fajã de Matos.

Figura 9: Local Implementação



Fonte: Google Earth(2020)

3.2. Descrição da Propriedade e Resíduos Produzidos

A propriedade em estudo possui uma área de 650m², possuem 35 ovinos sendo que por vezes este número varia visto que adquirem novos animais de outros cuidadores ou vendem por sua vez a outras pessoas. Eles possuem outros terrenos onde produzem anualmente aproximadamente 40 toneladas de cana-de-açúcar.

Decidiu-se trabalhar apenas com os ovinos deixando-se em aberto a possibilidade de conjugação de outros resíduos ou utilizando a cogeração para otimização do projeto.

3.3. Dimensionamento do biodigestor

No mercado é possível encontrar diversas tecnologias para o tratamento de resíduos. Para determinar a melhor opção, deve-se considerar primeiramente o tipo de resíduo que será utilizado no sistema. Além disso, outros critérios devem ser levados em consideração na hora de definir a tecnologia mais adequada, tais como o tipo de alimentação (contínua, batelada, entre outros), número de fases do processo e temperatura.

O biodigestor modelo Canadense foi escolhido para este estudo, por ser altamente difundido para o manuseamento de resíduos agropecuários para além de ser considerado ideal para climas tropicais.

Na figura pode-se observar um exemplo real de um biodigestor canadense.

Figura 10: Imagem real de Biodigestor canadense



Fonte: Empresa de Biodigestor Recolast (2020)

O biodigestor não pode ficar em um local de difícil acesso, nem muito distante, pois isso implicaria em uma grande dificuldade para operação do mesmo. O sistema de geração de energia deve ficar protegido, e mantendo distâncias seguras em relação ao biodigestor. Em biodigestores modelo canadense, constituídos basicamente de mantas plásticas, o biogás tem pouca pressão e devido a isso pode ser transportado por, no máximo, 50 m. Porém, é recomendado no Manual de Treinamento em Biodigestão que o biodigestor seja instalado a, pelo menos, 10 m de quaisquer edificações.

O Volume de biogás produzido em um biodigestor varia de acordo com a quantidade de biomassa que é colocada, com o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) e a temperatura interna do biodigestor. O Tempo de Retenção Hidráulica é fundamental para o dimensionamento do biodigestor, pois ele representa o tempo, em dias, que o resíduo deverá permanecer no biodigestor (ONUDI, 2009).

Para calcular o volume de carga diária, é necessário conhecer a média da massa de dejetos produzida e somar a quantidade de água, observando a relação esterco/água.

Na tabela seguinte poderá se ver uma planilha para cálculo de volume de carga que pode se usar no Excel.

Tabela 9:Planilha para Calculo Volume de carga

Espécie Animal	Esterco Animal (Kg)	Quantidades de animais	Total esterco (Kg)	Relação esterco: água	Volume de água	Volume da carga (m ³)
	A	B	C=A×B	D	E=C×D	F=C+E
Caprino/ Ovino	0.5			1:4 a 5		
Vaca	7			1:1		
Vaca Leiteira	25			1:1		
Bezerro	2			1:1		
Boi	15			1:1		
Suíno	4			1:1.3		
Total						

Fonte: Própria, Adaptado Lucas júnior (2005)

O volume medio de dejetos produzidos por ovinos pode ser estimado através da análise feita por Barker *et al.* (2002), que determinou a densidade dos dejetos de ovinos igual á 62,3 lb/ft³, equivalente a 997,95 kg/m³. O volume de dejetos por kg é deduzido através do inverso da densidade, resultando no valor de 0,001m³/kg. A produção de dejetos de ovinos apresentados é 1,5-5kg, no capítulo 2.

Nosso volume de alimentação diário do biodigestor dependerá do tipo de matéria orgânica utilizada e da quantidade de animais existentes na propriedade. Para esse cálculo, devemos saber a média de produção de esterco referente a cada tipo de animal e a quantidade de água necessária para a preparação da carga do biodigestor.

Decidiu-se adotar que cada ovino produz separadamente 0,5 kg de dejetos diários, baseando se na tabela9.

De acordo com Barker *et al.* (2002), é possível determinar o volume de dejetos em metros cúbicos por quilograma.

$$VDejetos = 0.001 \times D_{animal} \times N^{\circ}ovinos$$

Onde:

VDejetos = Volume dejetos

DAnimal =Dejeto por animal

Nºovinos = Número de Ovinos

$$VDejetos = 0.001 \times 0.5 \times 35$$

$$VDejetos = 0.0175m^3$$

Estes são o volume de dejetos diariamente, para determinar o volume de dejetos mensalmente visto que efetuar-se-á o carregamento de mês em mês é necessário multiplicar o valor encontrado por 30.

$$VDejetos = 0.0175 \times 30$$

$$VDejetos = 0.525$$

Levando em conta a relação esterco e água que de acordo com a Tabela 9 é 1:4 deve-se calcular o volume de carga da seguinte forma sendo que o volume de água será definido primeiramente.

$$V_{\text{Água}} = 4 \times VDejetos$$

Onde:

VÁgua =Volume água

$$V_{\text{Água}} = 4 \times 0.525$$

$$V_{\text{Água}} = 2.1m^3$$

$$VC = VDejetos + V_{\text{Água}}$$

Onde:

VC = Volume de Carga

$$VC = 0.525 + 2.1$$

$$VC = 2.625m^3$$

De acordo com Costa (2014) o tempo de retenção hidráulica para ovinos varia entre 28 e 56 dias.

Para este biodigestor optou-se por um tempo de retenção hidráulica de 30 dias visto que se fará a alimentação em batelada e durante este período acumular-se-á os resíduos, sabendo se este tempo é possível determinar o volume do biodigestor.

$$VB = VC \times TRH$$

Onde:

VB = Volume do biodigestor (m³);

VC = Volume de carga diária (solução de dejetos + água) (m³/dia);

TRH = Tempo de retenção hidráulica (dias).

$$VB = 2.625 \times 30$$

$$VB = 78.75m^3$$

Na tabela seguinte apresenta-se alguns volumes de biodigestores e suas respectivas medidas de escavação.

Tabela 10: Volume Biodigestores

Volume (m³)	Profundidade (m)	Comprimento maior C1 (m)	Largura maior (m)	Comprimento menor C2 (m)	Largura L2 (m)
3	1	3.5	1.2	3	0.7
7	1.0	6	2	4.8	0.8
15	1.4	7	2.5	5.5	1
20	1.5	8	3	6	1
30	1.5	10	3.5	8	1.5

Com o volume do biodigestor encontrado decidiu que este ocuparia um espaço demasiado grande optou-se desta forma por desenvolver uma solução em que se instalará dois biodigestores com volume de trinta metros cúbicos (m^3) e um de vinte metros cúbicos.

$$VB = 30m^3$$

$$VB1 = 20m^3$$

$$TRH = 30 \text{ dias}$$

Sabendo o volume do biodigestor e o tempo de retenção hidráulica poderá se calcular o volume de carga através da dedução seguinte.

$$VB = VC \times TRH$$

$$VC = VB \div TRH$$

$$VC = 30 \div 30$$

$$VC = 1m^3$$

$$VB = VC \times TRH$$

$$VC1 = 20 \div 30$$

$$VC1 = 0.67m^3$$

No próximo passo para calcular o volume de dejetos é necessário ter se em consideração a relação 1:4 do esterco e água como pode se ver na tabela 9.

$$V_{\text{Água}} = 4V_{\text{Dejetos}}$$

$$VC = V_{\text{Dejetos}} + V_{\text{Água}}$$

$$VC = V_{\text{Dejetos}} + 4V_{\text{Dejetos}}$$

$$VC = 5V_{\text{Dejetos}}$$

$$V_{\text{Dejetos}} = VC \div 5$$

$$V_{\text{Dejetos}} = 1 \div 5$$

$$V_{Dejetos} = 0.2m^3$$

$$VC1 = V_{Dejetos} + V_{Agua}$$

$$V_{Dejetos1} = 0.67 \div 5$$

$$V_{Dejetos1} = 0.134m^3$$

De seguida calcula-se o volume de água do biodigestor que será dado pela seguinte equação.

$$V_{Agua} = 4V_{Dejetos}$$

$$V_{Agua} = 4 \times 0.2$$

$$V_{Agua} = 0.8m^3$$

$$V_{Agua1} = 4 \times 0.134$$

$$V_{Agua1} = 0.536m^3$$

O volume total de dejetos a ser utilizado será a seguinte:

$$V_{Total\ Dejetos\ a\ utilizar\ Biodigestor(30)} = V_{Dejtos} \times 2$$

$$V_{Total\ Dejetos\ a\ utilizar} = 0.2 \times 2$$

$$V_{Total\ Dejetos\ a\ utilizar} = 0.4m^3$$

$$V_{Total\ Dejetos\ a\ utilizar\ Biodigestor(20)} = 0.134m^3$$

A escavação é realizada conforme os cálculos do dimensionamento tendo em conta o volume de biodigestor escolhido o biodigestor terá as seguintes dimensões (de acordo com a tabela 10).

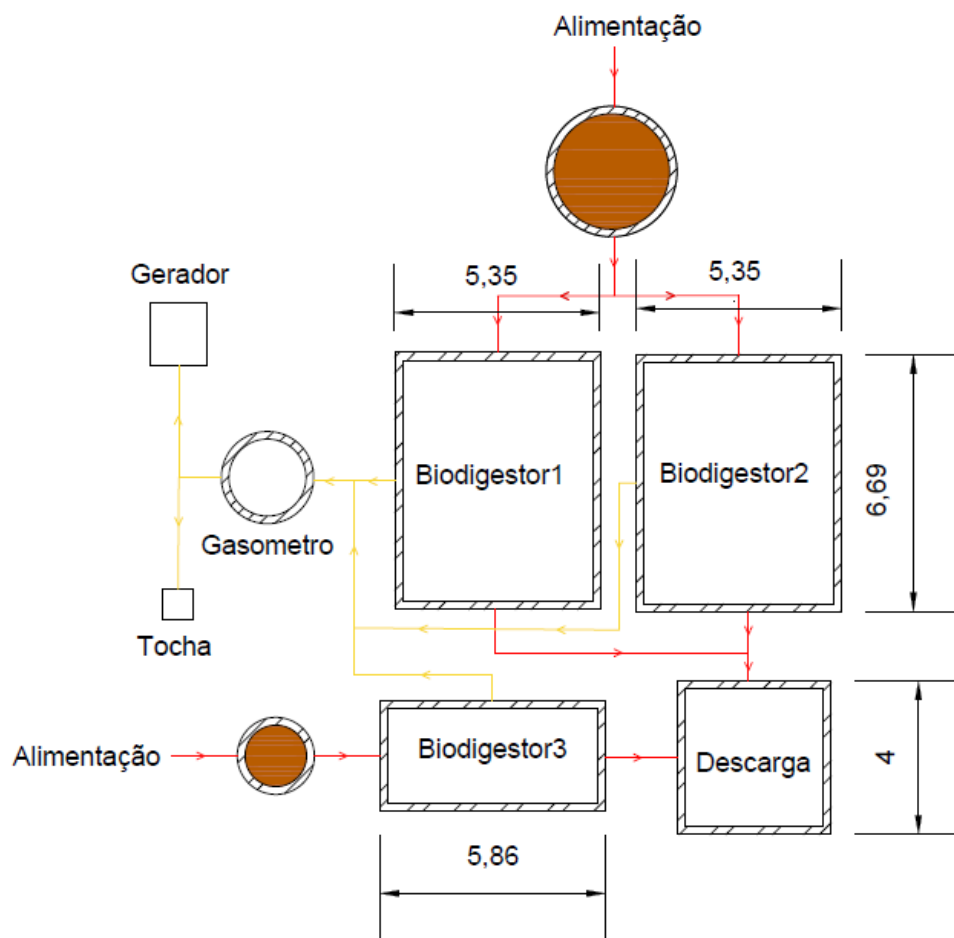
Na tabela abaixo poderão se ver as dimensões dos biodigestores:

Tabela 11: Dimensões dos Biodigestores

Volume Biodigestor (m³)	Profundidade (m)	Comprimento Maior (m)	Largura Maior	Comprimento Menor (m)	Largura Menor (m)
20	1.5	8	3	6	1
30	1.5	10	3.5	8	1.5

Na figura 10 encontra se o desenho do layout dos biodigestores feito no software Auto CAD 2017.

Figura 11: Layout Biodigestor



Fonte: Autoria Própria

3.4. Instalação do Biodigestor

De acordo com o Manual de Treinamento em Biodigestão (2008), os procedimentos de instalação do biodigestor são:

- Escavar um buraco no solo, com as medidas definidas no projeto de dimensionamento;
- Escavar um buraco maior, na saída do biodigestor, para acomodar o tonel ou caixa de saída de biofertilizante;
- Abrir a manta plástica de PVC sobre o buraco;
- Colocar tubos e colar mangas da manta no biodigestor;
- Fixar o perímetro da manta plástica, enterrando-o, ou com selo d'água;
- Instalar a tubulação de biogás;
- Iniciar a carga.

Na instalação é muito importante selarmos a campânula do biodigestor, onde o biogás será armazenado. Para isso podemos enterrar as bordas da manta de PVC ou usar um selo d'água, que será um pequeno tanque de água que deve circundar o biodigestor, e a manta de cobertura do biodigestor ficaria presa no fundo do tanque, com a água fazendo a selagem da câmara.

3.5. Materiais Para Construção Biodigestor

A instalação de um biodigestor modelo canadense é bastante simples e os materiais necessários são:

- Caixa de alvenaria ou fibra para caixa de entrada;
- Manta de cobertura de PVC flexível de 1,0 mm;
- Tubulação de PVC de 150 mm para esgoto (branca), para a entrada de dejetos e saída de biofertilizante;
- Tubulação e conexões de PVC de 1 para água para a condução do biogás;
- Caixa de alvenaria ou fibra para o armazenamento do biofertilizante.

A utilização da tubulação de 1 é utilizada quando usamos o biodigestor alimentando um motor de combustão interna, a fim de obtermos vazão suficiente para operação do mesmo, para utilização direta em outros equipamentos deve ser usado o diâmetro de $\frac{3}{4}$ ".

É importante também que as emendas das tubulações sejam bem vedadas, com cola especial ou fita própria para vedação, a fim de evitar vazamentos. Mesmo assim é importante a realização de testes de vazamentos, banhando as conexões com água e sabão.

3.6. Estimativa de Produção de Biogás

A produção de biogás depende do tipo de substrato, sendo que o esterco animal conta com grande população de bactérias nos dejetos, favorecendo a fermentação. As espécies animais diferem quanto à estimativa da produção diária de biogás, em relação à massa de esterco.

Tabela 12: Potencial de produção de biogás a partir dejetos animais.

Espécie	m³ de biogás/kg estrume	m³ de biogás/100kg estrume
Caprino / ovino	0.040-0.061	4.0-6.1
Bovino de leite	0.040-0.49	4.0-4.9
Bovino de corte	0.040	4.0
Suínos	0.075-0.089	7.5-8.9
Frangos de corte	0.090	9.0
Poedeiras	0.100	10.0
Codornas	0.049	4.9

Fonte: Própria, Adaptado Manual de Treinamento em Biodigestão (2008)

Sabendo a quantidade de dejetos produzidos por dia pode se estimar a produção de biogás diariamente tendo em conta a tabela 12.

$$Produção\ Biogas = Dejeito(Kg) \times m^3biogás/Kg\ esterco$$

$$Produção\ Biogas = 17.5 \times 0.061$$

$$Produção\ Biogas = 1.0675m^3$$

$$Produção\ Biogas\ mensal = 1.0675 \times 30$$

$$Produção\ Biogas\ mensal = 32m^3$$

3.7. Uso do Biogás

De acordo com o Manual de treinamento em biodigestão (2008) um metro cubico de biogás (1m³) equivale, á cinco virgula cinco quilowatts de energia elétrica (5,5KWh).

Tendo em conta esses dados terá se a seguinte geração de energia elétrica mensal.

$$\text{Produção Energia Eletrica mensal} = \text{Produção Biogas mensal} \times 5.5\text{kwh}$$

$$\text{Produção Energia Eletrica mensal} = 32 \times 5.5\text{kwh}$$

$$\text{Produção Energia Eletrica mensal} = 176\text{kwh/mes}$$

Para uso do biogás decidiu usar um gerador de gás green power com as caraterísticas apresentadas na tabela seguinte:

Tabela 13: Caraterística gerador

Modelo	1.5Kw
Potencia Nominal	1500W
Potencia Máxima	1800W
Capacidade de óleo do motor	Adicionar 0.6L antes usar
Saída DC	12V- 8.3A
Gás Adequado	Biogás/Metano Só
Nível de Ruido (7m distancia)	60dB
Tensão	110V / 220V
Modo Arranque	Partida Elétrica
Frequência	50HZ /60HZ

Fonte: Própria Adaptado Alibaba (2020)

O gerador green power CC5000-LPG-B e um gerador de cobre com único cilindro, refrigerado a ar, são usados para geração de energia de pequena quantia.

Na imagem seguinte encontra representado o gerador.

Figura 12: Gerador a gás



Fonte: Alibaba (2020)

IV. ANALISE FINANCEIRO E ECONOMICO DA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A análise financeira foi efetuada utilizando Excel para uma melhor análise.

Os valores envolvidos no projeto estão apresenta dos na ta bela seguinte:

Tabela 14: Tabela de custos

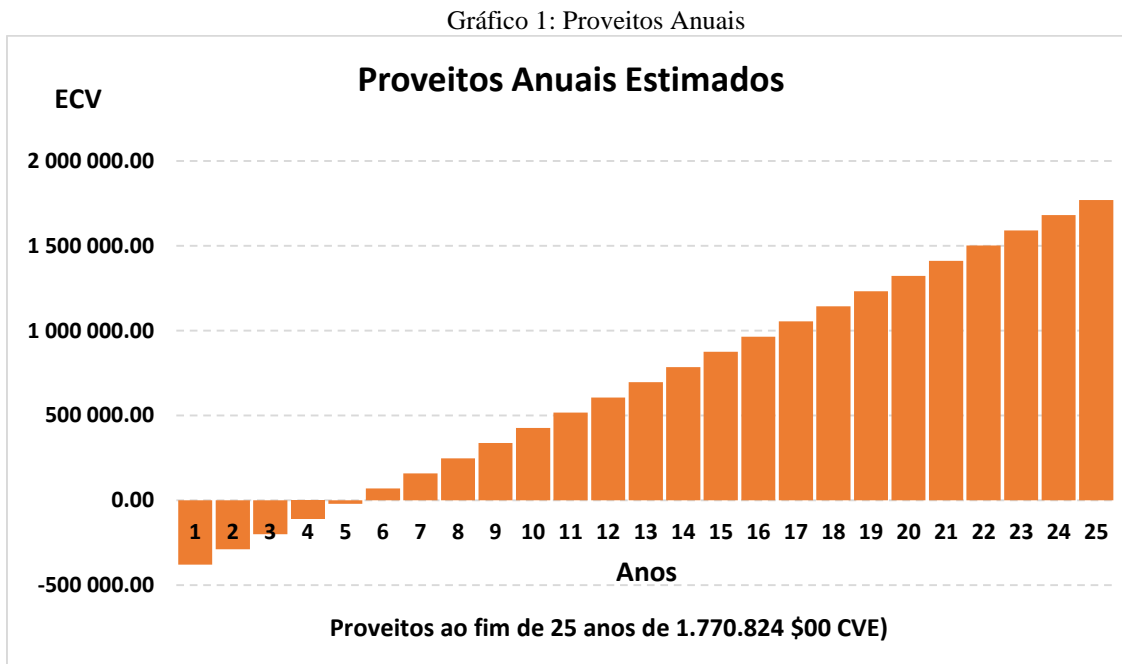
Equipamentos	Valor Unitário	Quantida de	Total
Gerador Gás	47 030ECV	1 Unidade	47 030ECV
Manta de PVC Flexível de 1mm	630ECV	360m ²	226 800ECV
Tubulação PVC 150mm	540ECV	16m	8 640ECV
Tubulação de PVC 40mm	179ECV	30m	5 370ECV
Flange 40mm	360ECV	3 Unidade	1 080ECV
Fio Elétrico	1 075ECV	1 Rolo	1 075ECV
Caixa Alvenaria	13 500ECV	3	40 500 ECV
Filtro de Biogás	3 600ECV	3	10 800ECV
Registro 40mm	720ECV	3	2 160ECV
Total	-	-	343 455ECV
Total +10%	-	-	377 800ECV

Fonte: Aatoria Própria

A viabilidade económica foi feita de acordo com os seguintes parâmetros:

- ✓ Vida útil do projeto 25 anos;
- ✓ Investimento capital próprio;
- ✓ Taxa de Inflação 1,3;
- ✓ Custo Eletricidade 32ECV/KWh

4.1. Fluxo de Caixa Cumulativo



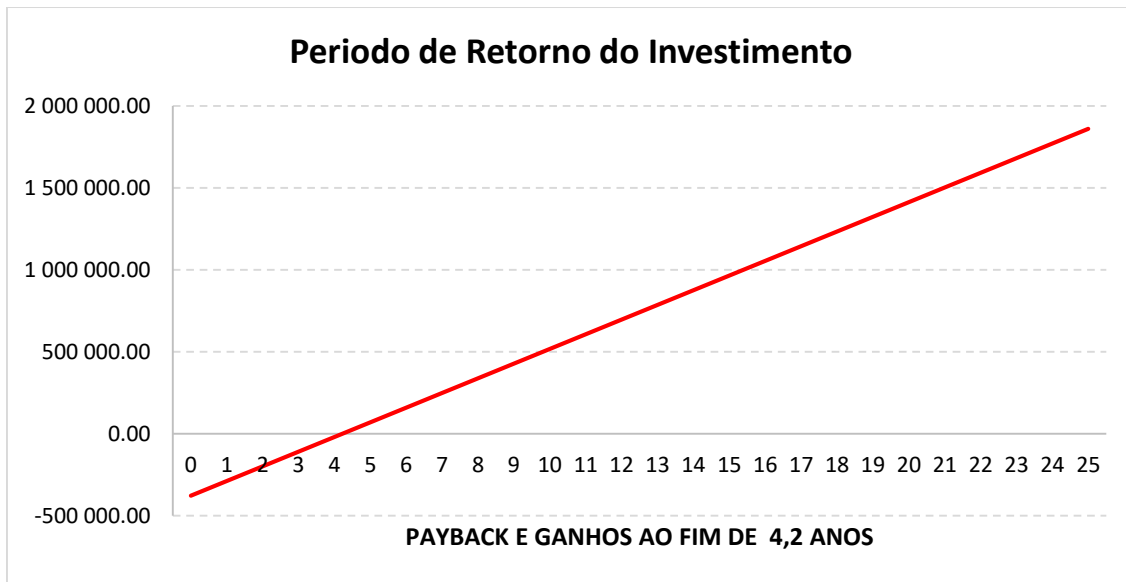
Fonte: Própria (2020)

Ao fim de 25 anos o projeto terá rendido 1.770. 824 ECV (um milhão setecentos setenta, oitocentos vinte e quarto escudo cabo verdeanos).

4.2. Retorno de Investimento

O retorno do investimento se concretizara apos 4.2 anos como se pode observar no gráfico 2.

Gráfico 2: Retorno de Investimento



Fonte: Própria (2020)

V. CONCLUSÃO

Atualmente, com a variação do preço da energia, e com o crescimento do incentivo á novas formas de geração de energia, fontes mais limpas e sustentáveis comecem a surgir, com o intuito de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa e ao mesmo tempo suprir a demanda energética.

Os objetivos iniciais delimitados no presente estudo foram atingidos, pois, demonstrou a importância da construção, manutenção e da difusão da tecnologia do uso do biodigestor caseiro para pequenos produtores de ovinos. Sendo uma forma sustentável para elucidar os problemas advindos da destinação dos resíduos produzidos em pequenas propriedades. A produção de biogás pode ainda reduzir os custos mensais com outros combustíveis, que podem ser potencializados com a utilização do biofertilizante.

Com as análises realizadas no presente estudo, é possível perceber que, a viabilidade económica da implementação de um sistema de tratamento de dejetos ovinos para a geração de energia elétrica é viável, este estudo mostra que pequenas propriedades rurais podem investir em sistemas de geração de biogás, podendo gerar energia elétrica que contribui para a diminuição da fatura no final do mês ou também pode se usa-lo para cozimento de alimentos entre outras aplicações.

O projeto de biodigestor que foi aqui apresentado foi baseado em um modelo de baixo custo, tanto no que tange a sua instalação, como para divulgar e incentivar as comunidades locais a também implantarem essa tecnologia.

O investimento inicial para implementação do projeto foi de 377 800ECV, sendo que o capital a ser investida será assumido na totalidade pelos proprietários. Através da análise feita, o projeto é viável, num período de 4.2 anos é recuperado o capital investido e ao fim de 25 anos ter-se-á um rendimento de 1.770. 824 ECV.

VI. REFERÊNCIAS

- Agência Internacional de Energia. Bioenergia e Biocombustíveis. 2019
- Associação portuguesa das empresas de Gás Natural. Breve história do gás natural.2019.
- ONUDI - **Organização Das Nações Unidas Para Desenvolvimento Industrial. Programa de capacitação em energias renováveis** - modulo o biogás. 2020.
- Probiogás. **Guia Pratico do Biogás- Geração e Utilização**. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2010.
- Alves, F. S. F.; Pinheiro, R. R. **O esterco caprino e ovino como fonte de renda**. Dissertação (Mestrado), Minas Gerais, 2005.
- Amorim, A. C. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. Dissertação (Mestrado)— Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.
- Andrade, M. A. N. Ranzi, T. J. D.; Muniz, R. N. Silva, L. G. de S. Elias, M.J. **Biodigestores Rurais no Contexto da Atual Crise de Energia Elétrica Brasileira e na Perspectiva de Sustentabilidade Ambiental**. 2002.
- Araújo M.; Souza, A. Veloso, C. **Manual para operação e construção e operação de biodigestores**. Fundação Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte: CETEC, 1981.
- Barker, J. C.; Hodges, S. C.; Walls, F. R. **Livestock manure production rates and nutrient content**. EUA, 2002.

- Batista, L. F. **Construção e operação de biodigestores: modelo indiano. Séries manuais.** EMBRATER. 1981
- Bohrz, G. I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2010.
- Castanho, D., S.; Arruda, H., J. **Biodigestores. VI Semana de Tecnologia em Alimentos.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2008.
- Chernicharo, C. A. L., **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Volume 5 - Reatores Anaeróbios.** 2ª Edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), 2007.
- Comastri Filho, J, A. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense.** Circular Técnica nº9, EMBRAPA: Corumbá, 1981.
- Corbitt, R. A. **Standard handbook of environmental engineering.** 1. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1990.
- Deganutti, R.; Palhaci, M. do C. J. P.; Rossi, M.; Tavares, R.; Santos, C. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelalda.** 2002.
- Esperancini, M. S. T. et al. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de São Paulo.** Engenharia Agrícola. Cidade Área Rural-SP. 2007.
- Ferling, F. F. **Unidade termoeletrica movida a biogás do aterro sanitário de São José dos Campos.** Monografia: IEE/USP, 2003.

- Filho, I., O., S. **Avaliação da Toxicidade e Remoção de Matéria Orgânica de Efluente de Biodigestor de Resíduos Sólidos Orgânicos Tratado em Wetlands.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Caruaru, 2014.
- Florentino, H. O., **Mathematical tool to size rural digesters.** Cienc. Agrícola, vol.60, n.1. ISSN 0103-9016, jan/mar, 2003.
- Jorge, L., H., A.; Omena, E. **Biodigestor. Dossiê Técnico.** SENAI/ AM- Escola SENAI Antônio Simões. Março, 2012.
- Gaspar, R., M., B., L. **Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais, com Ênfase na Agregação de Valor:** Um Estudo de Caso na Região de Toledo- PR. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós- Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2003.
- Isildo, G. **Consultoria em Gestão de Recursos Humano- Áreas Protegidas de Santo Antônio.** 2020
- Gryscek, J.M; Belo, F. R. **Produção e uso do gás metano na agricultura e agroindústria.** 1983
- Komiyama, M.; Misonou, T.; Takeuchi, S.; Umetsu, K.; Takahashi, J. **Biogás as a reproducible energy source: Its steam reforming for electricity generation and for farm machine fuel:** International Congress Series, 2006.
- Kolling, E. M., **Análise de um Sistema Fotovoltaico de Bombeamento de Água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2001.

- Lema, J. M.; Méndez, R. J.; **Tratamientos biológicos anaerobios**. In: BUENO, J.; Sastre, L.; Lavin, A. (eds) Contaminación e ingeniería ambiental, v. 3. Contaminación de las aguas. F.I.C.Y.T, Oviedo, 1997.
- Lettinga, G.; Hulshof, W.; Zeeman, G. **Biological wastewater treatment. Part I: Anaerobic wastewater treatment**. Lecture Notes, Wageningen Agriculture University, 1996.
- Lössel, J. B. L. **Historia del Biogás**. 2011.
- Macedo, F. J.de.:**Dimensionamento de Biodigestores para Tratamento de Dejetos da Produção Suína**. TCC (Graduação) -Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- Marco, R. S.C. **O Município da Ribeira Grande (1867-1885)** – Licenciatura em ensino de História, 2005
- Maurer, M.; Winkler, J-P., **Biogás** – Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1980
- Moffitt, D.**Waste management and recycling of organic matter**. 163 p., 1999.
- Moraes, L. M. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lodos de esgoto provenientes de reatores anaeróbios seqüenciais**. Tese (Doutor em Engenharia Agrícola- Área de concentração de Água e Solo)-Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP. 2005.

- Oliver, A. P. M. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. Instituto de Estudos Del Hambre.2008
- Paes, R. F. C. **Caracterização do chorume produzido no aterro da Muribeca - PE**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.
- Park, S.; LI, Y. **Evaluation of methane production and macronutrient degradation in the anaerobic co-digestion of algae biomass residue and lipid waste**. Bioresource technology, 2012.
- PereirA, E. L.; Campos, C. M. M.; Monterani, F. **Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbico de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura**. Revista Ambiente & Água - An interdisciplinary Journal of Applied Science, 2009.
- Pereira, E. R.; Demarchi, J. J. A. A.; Budiño, F. E. L. **Biodigestores- Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária**. 2009
- Pinto, P., H., M. **Tratamento de Manipueira de Fecularia em Biodigestor Anaeróbico para Disposição em Corpo Receptor, Rede Pública ou uso em Fertirrigação**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrônômicas- Universidade Estadual Paulista. Pós- Graduação em Energia na Agricultura. Botucatu, 2008.
- Ribeiro, D. S. **Determinação das Dimensões de um Biodigestor em Função da Proporção Gás/Fase Líquida**. Revista Holos, ano 27, vol. 1. 2011.
- Rossilo-Calle, F. **The role of biomass energy in rural development**. In: Encontro de energia no meio rural – Agrener, 3, Campinas. Unicamp, 2000.

- Roy, B., Freitas, E.; Barros, E.; Andrade, F.; Pragana, M.; Silva, D.J.A. **Biogás: uma energia limpa**. Revista Eletrônica Novo Enfoque.2011.
- Sagar, A. D. and Kartha, S., “**Bioenergy and Sustainable Development?**”, Annual Review of Environment and Resources, vol. 32, no. 1, 2007
- Silva, L. C. L. **O método científico: Algumas relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente**. Cidade Amazônia-AM. 2010
- Sganzerla, E., **Biodigestor; uma solução**. Agropecuária, Porto Alegre, 1983.
- Souza, J. M., **Análise climatológica do potencial eólico no estado de Minas Gerais**. 245p., UFV, Viçosa, 1993.
- Souza, M. E. de. **Fatores que influenciam a digestão anaeróbia**. Revista Dae, São Paulo, v. 44, n. 137, p.88-94, jun. 1984.
- Souza, S. N. M., Pereira, W. C., Nogueira, C. E. C., Pavan, A. A., Sordi, A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v.26, p.127-133, 2004.
- Staiss, C., Pereira, H.. **Biomassa Energia Renovável na Agricultura e no Setor Florestal**. Revista Agros, Instituto Superior de Agronomia, Portugal, v.13, n.1, p.21-28, 2001.
- Tarrento. G. E., Martines, J. C. **Análise da implantação de biodigestores em pequenas propriedade rurais, dentro do contexto da produção limpa**. In: SIMPEP, 13. 2006. Bauru, SP, Brasil.

- HAANDEL, A.C.;LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgoto. Um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. 1994.
- Villullas, H. et al. **Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis.** Química Nova na Escola. 2002.
- Ward J., Hobbs J., Holliman P., Jones D.,. **Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resour:** Review. Bioresource Technology,2008.
- Zareh, A. **Motores a Gás. Lubrificação,** Rio de Janeiro, 1998.

VII. ANEXOS

Anexo 1- Tarifas Eletricidade

Tarifa Baixa Tensão Domestica (BT)

*Aplicável a todos os clientes de baixa tensão.

BT Doméstica Tarifa D	
Consumo 1º escalão até 60 kWh	Consumo 2º escalão superior a 60 kWh
26\$00 (*)	33\$89(*)

(*) Inclui IVA a 15%

Tarifa baixa Tensão Industrial

*Aplicável a consumidores de energia elétrica em Baixa Tensão para produção de força motriz e outras utilizações industriais em fábricas, oficinas e instalações congéneres (funcionamento regular).

BTE Tarifa I
Valor da Factura: $F = aP + kW$
P = Potência instalada, em kW W = Consumo mensal, em kWh k = multiplicador variável em função do caso do cliente. a = taxa de potência = 317\$63 / kWh (*) b = taxa de energia = 29\$46/ kWh (*)

Tarifa Média Tensão (MT)

*Aplicável a consumidores de energia elétrica em Média Tensão.

Tarifa Média Tensão (MT)
Valor da Factura: $F = aP + kW$
P = Potência instalada em kW W = Consumo mensal em kWh k = multiplicador variável em função do caso do cliente. a = taxa de potência = 292\$55 / kWh (*) b = taxa de energia = 24\$49/ kWh (*)

Iluminação Pública (IP)

*Aplicável às Câmaras Municipais para remuneração do serviço de Iluminação Pública regular).

Iluminação Pública Tarifa I
26\$00/ kWh (*)

Consumo Interno da Produção de Água

Consumo Interno da Produção de Água
21\$62

Fonte: Electra (2020)

Anexos 2- Objetivos Desenvolvimento Sustentável

- Erradicação da pobreza - Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares;
- Fome zero e agricultura sustentável- Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
- Saúde e bem-estar- Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;
- Educação de qualidade - Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;
- Energia limpa e acessível- Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia, para todos;
- Trabalho decente e crescimento econômico- Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos;
- Indústria, inovação e infraestrutura- Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;
- Redução das desigualdades - Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles;
- Cidades e comunidades sustentáveis- Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
- Consumo e produção responsáveis- Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;
- Ação contra a mudança global do clima- Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos;
- Vida na água- Conservar e usar sustentavelmente os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;
- Vida terrestre- Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra, e deter a perda de biodiversidade;

- Paz, justiça e instituições eficazes- Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis;
- Parcerias e meios de implementação- Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável. (ONU)

Anexos 3 - Outros modelos de Reatores

- Reatores UASB;
- Reatores EGSB e IC;
- Continuously Stirred Tank Reactor (CSTR) - Reator de Fluxo Contínuo;
- Digestores de baia ou tipo garagem;
- Reatores de fluxo pistonado.